



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 14 553 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 02 B 3/00**  
F 02 B 15/00

⑳ Aktenzeichen: 100 14 553.1  
㉔ Anmeldetag: 23. 3. 2000  
㉕ Offenlegungstag: 4. 10. 2001

DE 100 14 553 A 1

㉑ Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

㉒ Erfinder:  
Klenk, Rolf, Dr., 70327 Stuttgart, DE; Rößler, Klaus,  
Dipl.-Ing., 73776 Altbach, DE

⑤⑤ **Entgegenhaltungen:**

DE	197 07 811 A1
DE	196 36 088 A1
DE	196 02 065 A1
DE	195 48 526 A1
DE	39 36 619 A1
DE	38 02 161 A1

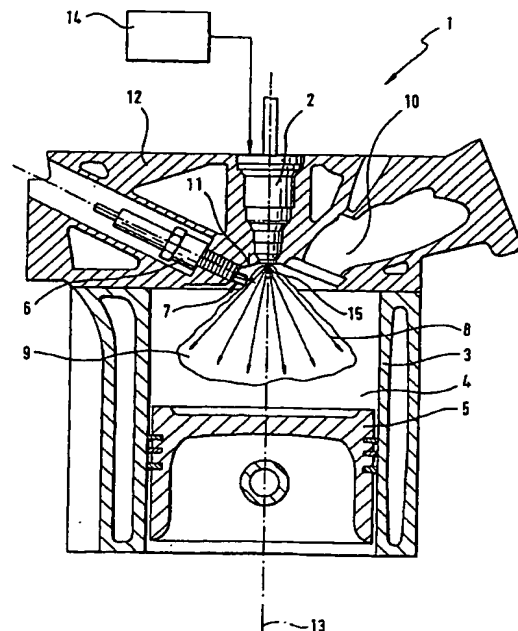
BEST AVAILABLE COPY

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum Betrieb einer direkteinspritzenden Otto-Brennkraftmaschine

⑤⑦ Bei einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine wird Kraftstoff von einem Injektor (2) in einen Brennraum (4) eingespritzt, dem über einen Einlaßkanal (10) Verbrennungsluft separat zugeführt wird. Um die Abgasemission der direkteinspritzenden Brennkraftmaschine (1) zu reduzieren, ist erfindungsgemäß vorgesehen, den Injektor (2) während eines Einspritzvorganges in einer vorgegebenen Taktfolge vielfach zu öffnen und zu schließen.



DE 100 14 553 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Gattung.

[0002] Ein Injektor spritzt bei der inneren Gemischbildung Kraftstoff in einen Brennraum, der innerhalb jedes Zylinders der Brennkraftmaschine von einem Kolben begrenzt wird. Zur inneren Gemischbildung mit dem eingespritzten Kraftstoff wird Verbrennungsluft separat über einen Einlaßkanal dem Brennraum zugeführt. Im Schichtladungsbetrieb wird der Kraftstoff zu einem späten Zeitpunkt während des Kompressionshubes des Kolbens in den Brennraum eingespritzt und mit der Verbrennungsluft eine zentrale Gemischwolke gebildet, welche von magerem Gemisch oder sogar im wesentlichen kraftstofffreier Verbrennungsluft umgeben ist. Auf diese Weise ist in weiten Kennfeldbereichen ein Betrieb der Brennkraftmaschine mit insgesamt magerer Gemischzusammensetzung möglich und so der Kraftstoffverbrauch der Brennkraftmaschine reduziert. Bei direkteinspritzenden Otto-Brennkraftmaschinen ist bei der Konfiguration der Gemischwolke im Brennraum zu gewährleisten, daß zündfähiges Gemisch mit etwa stöchiometrischem Kraftstoff/Luft-Verhältnis an den Elektroden der Zündkerze vorliegt.

[0003] Im Betrieb von Brennkraftmaschinen und insbesondere fremdgezündeter Brennkraftmaschinen treten bei später Kraftstoffeinspritzung Schwarzauchmissionen auf, welche unter anderem auf fette Gemischzonen in der kompakten Gemischwolke zurückzuführen sind. Die fetten Gemischzonen mit unerwünscht hoher Kraftstoffkonzentration entstehen aufgrund der geringen Eindringtiefe des eingespritzten Kraftstoffes in den Brennraum gegenüber hohem Zylinderdruck. Eine Anhebung des Einspritzdruckes kann hier keine Abhilfe schaffen, da die Eindringtiefe des Kraftstoffes erhöht wird, jedoch aufgrund des höheren Durchsatzes im Injektor der Kraftstoff wiederum in einer kompakten Wolke konzentriert wird. Darüber hinaus wird im Vollastbetrieb der Brennkraftmaschine mit annähernd homogener Gemischbildung keine gleichmäßige Kraftstoffverteilung im Brennraum erreicht, was zu hohen Schadstoffemissionen, insbesondere Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid und zu niedriger Motorleistung führt.

[0004] Aus der DE 195 02 065 A1 ist ein Verfahren zum Betrieb eines Verbrennungsmotors bekannt, bei dem die gesamte einzuspritzende Kraftstoffmenge in eine Hauptkraftstoffmenge und eine später einzuspritzende Zündkraftstoffmenge geteilt wird. Dadurch wird die gewünschte stabile Entflammung bei guter Kraftstoffaufbereitung erreicht, wobei die beiden Mengen zeitversetzt eingespritzt werden. Zum Zündzeitpunkt liegen zwei Gemischwolken unterschiedlicher Größe und Zusammensetzung vor.

[0005] Die DE 197 07 811 A1 sieht zur Reduzierung der Stickstoffoxide im Abgas einer Kraftstoff einspritzenden Brennkraftmaschine vor, in einer Früheinspritzung zur Erzeugung von Kohlenwasserstoffradikalen eine erste Kraftstoffmenge einzuspritzen und in nicht geringem Abstand nach dem Ende der Früheinspritzung die Haupteinspritzung der für die Verbrennung notwendigen Kraftstoffteilmenge zu beginnen. Gegebenenfalls kann die Früheinspritzung zusätzlich vor einer der Haupteinspritzung als abgesetzte Teileinspritzung vorausseilenden Voreinspritzung erfolgen, so daß insgesamt drei Einspritzvorgänge mit jeweils kontinuierlichem Kraftstoffeintrag in den Brennraum erfolgen.

[0006] Bei Mehrfacheinspritzungen mit Vor-, Haupt- und ggf. Nacheinspritzung liegen zwischen den einzelnen Einspritzvorgängen lange Zeitintervalle, in denen die Gemischwolke zerfallen kann. Die Folge ist ein Anstieg der Kohlen-

wasserstoffemission.

[0007] Bei dem Betriebsverfahren nach der DE 196 02 065 A1 wird bei kürzerer Unterbrechung zwischen Haupt- und Zündeinspritzung die Bildung zweier voneinander getrennter Kraftstoffwolken herbeigeführt, welche jeweils hohe Kraftstoffkonzentrationen aufweisen. Dabei wird die Kohlenwasserstoffemission erhöht und es besteht zudem die Gefahr unerwünschter Kohlenmonoxidemission.

[0008] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine zu schaffen, mit dem die Abgasemission der Brennkraftmaschine reduziert wird.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

[0010] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, den Injektor während eines Einspritzvorganges in einer vorgegebenen Taktfolge vielfach zu öffnen und zu schließen. Bei rascher Taktung des Injektors wird der Kraftstoffstrahl kurzzeitig unterbrochen und Verbrennungsluft kann in die Wolke eingelagert werden. Auf diese Weise kann die Konzentration durch Vorgabe einer geeigneten Taktfolge der Öffnungs- und Schließzeitpunkte des Injektors die Konzentration des Kraftstoffes innerhalb der Gemischwolke durch geeignete Einstellung der Dauer der Einspritzung und der Unterbrechungen der Einspritzung eingestellt werden. Zur Durchführung des Verfahrens ist ein schnelltaktbarer Injektor geeignet wie etwa ein Injektor mit einem Piezoelement als Stellglied oder ein Schnarrventil. Mit der erfindungsgemäßen Taktung des Einspritzvorganges und dem Eintrag der vorgesehenen Kraftstoffmenge in vielen Teilmengen kann auch im Vollastbetrieb bei homogener Gemischbildung eine gleichmäßigere Gemischzusammensetzung erreicht werden, da der zur Gemischbildung zur Verfügung stehende Zeitraum durch die Einlagerung von Luft in der Gemischwolke besser genutzt wird als bei kontinuierlicher Kraftstoffeinspritzung. Durch die Taktung des Einspritzvorganges wird insbesondere im Schichtladungsbetrieb einer Otto-Brennkraftmaschine die Schwarzauchmission ohne die bisher nicht zu vermeidende Kohlenwasserstoffemission verringert.

[0011] Des weiteren wird durch die vielfache Unterbrechung des Einspritzvorganges bei getakteter Einspritzung die Dauer der Einspritzung der gesamten Kraftstoffmenge verlängert, die Kraftstoffkonzentration innerhalb der Gemischwolke nicht. Im Vollastbetrieb läßt sich so bei Kraftstoffeinspritzung während des Saughubes eine verbesserte Homogenisierung des Gemisches und somit eine höhere Leistungsausbeute erzielen.

[0012] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

[0013] Fig. 1 in schematischer Darstellung einen Querschnitt durch eine direkteinspritzende Otto-Brennkraftmaschine,

[0014] Fig. 2 – Fig. 4 verschiedene Taktungen des Injektors in grafischen Darstellungen der Kraftstoffeinspritzung über die Zeit.

[0015] Fig. 1 zeigt eine direkteinspritzende Otto-Brennkraftmaschine 1, in deren Zylinder 3 ein längsbeweglicher Kolben 5 angeordnet ist und einen Brennraum 4 begrenzt. Ein Zylinderkopf 12 liegt auf dem Zylinder 3 auf und schließt mit seiner innen liegenden Seite, die im vorliegenden Ausführungsbeispiel als kegelförmiges Brennraumdach 11 gestaltet ist, den Brennraum ab. Im Zylinderkopf 12 ist ein Injektor 2 angeordnet, welcher wie im vorliegenden Ausführungsbeispiel zweckmäßig in zentraler Lage im Scheitel des Brennraumdaches 11 auf der Zylinderachse 13 des Zylinders 3 liegt. Die Einspritzdüse 15 des Injektors 2

sollte maximal 10 mm von der Zylindermittelachse 13 entfernt liegen.

[0016] Zur Kraftstoffabgabe in den Brennraum 4 wird der Injektor 2 von einer Steuereinheit 14 geöffnet. Der eingespritzte Kraftstoff bildet mit separat über einen Einlaßkanal 10 im Zylinderkopf 12 zugeführter Verbrennungsluft ein zündfähiges Gemisch. Im Zylinderkopf 12 ist des weiteren eine Zündkerze 6 angeordnet, deren Elektroden 7 in den Brennraum einragen. Der Kraftstoff wird von dem Injektor 2 in einem Hohlkegelstrahl 8 in den Brennraum 4 eingespritzt, wobei die Elektroden 7 der Zündkerze 6 etwa im Kegelmantelbereich des Kraftstoffstrahls 8 liegen. Bei dem strahlgeführten Gemischbildungskonzept wird im Schichtladungsbetrieb der Brennkraftmaschine bei Kraftstoffeinspritzung während des Kompressionshubes des Kolbens 5 eine geschichtete Gemischwolke 9 im Brennraum 4 mit nach außen abfallenden Kraftstoffkonzentrationen gebildet, wobei an den Elektroden 7 zündfähiges Gemisch im Bereich des stöchiometrischen Verhältnisses vorliegt. Durch den Hohlkegelstrahl ergibt sich dabei auch im Bereich der Zylindermittelachse, also im Zentrum der Gemischwolke, eine abnehmende Gemischkonzentration. Der Schichtladungsbetrieb mit später Kraftstoffeinspritzung während des Kompressionshubes des Kolbens 5 ist in unteren und mittleren Lastbereichen der Brennkraftmaschine 1 vorgesehen und ermöglicht einen geringen Kraftstoffverbrauch. In höheren Lastbereichen und bei Vollast wird der Kraftstoff vorzugsweise während des Saughubes des Kolbens 5 eingespritzt, um mit homogener Gemischbildung eine höhere Leistungsausbeute zu erzielen. Der Injektor 2 wird von einer Steuereinheit 14 über ein entsprechendes Steuersignal geöffnet und geschlossen, wobei die Steuereinheit 14 die Einspritzzeitpunkte in Abhängigkeit des Lastpunktes oder der Drehzahl der Brennkraftmaschine bestimmt.

[0017] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, den Injektor während eines Einspritzzeitpunktes in einer vorgegebenen Taktfolge vielfach zu öffnen und zu schließen, so daß der gesamte zur Gemischbildung vorgesehene Kraftstoff in vielen kurzen Teileinspritzungen in den Brennraum gebracht wird. Der gesamte Einspritzvorgang wird dabei vielfach zeitlich unterbrochen. Während der Unterbrechungen kann Verbrennungsluft in die Gemischwolke 9 eindringen und so eine optimale Gemischaufbereitung erfolgen. Dabei werden örtliche Kraftstoffkonzentrationen vermieden und der bei Verbrennung fetter Gemische auftretenden hohen Schadstoffemission im Abgas der Brennkraftmaschine entgegengewirkt.

[0018] Der Durchsatz des Injektors 2 wird im wesentlichen von dem anstehenden Kraftstoffdruck und der Öffnungsdauer des Injektors bestimmt. Durch die vielfache, schnelle Unterbrechung des gesamten Einspritzvorganges durch Taktung des Injektors steht für die Gemischaufbereitung eine längere Zeitdauer zur Verfügung, in der die vorgesehene Kraftstoffmenge eingespritzt wird. Die erfindungsgemäße Verlängerung des gesamten Einspritzvorganges erfolgt unabhängig von dem gewählten Einspritzdruck, so daß ein im Hinblick auf optimale Ausbildung der Kraftstofftropfen geeigneter Einspritzdruck eingestellt werden kann. Durch die schnelle Taktung des Injektors 2 kann zum einen im Schichtladungsbetrieb eine höhere Luftmenge in die Gemischwolke 9 während der Einspritzunterbrechungen eingebracht werden. Im Vollastbetrieb der Brennkraftmaschine mit Saughubeinspritzungen führt die Verlängerung des gesamten Einspritzvorganges zu einer besseren Homogenisierung des Kraftstoff/Luft-Gemisches im Brennraum 4.

[0019] Der Injektor 2 weist eine Einspritzdüse 15 auf, die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens in rascher Taktfolge schließbar ist und ebenso schnell

wieder geöffnet werden kann. Besonders gute Resultate werden mit Injektoren 2 erreicht, welche eine Einspritzdüse 15 mit einem nach außen öffnenden, das heißt zur Öffnung in den Brennraum ausschiebbaren Ventiltglied aufweisen.

5 Der gewählte Injektor 2 soll vorzugsweise einen Hohlkegelstrahl 8 erzeugen. Die Einspritzdüse 15 des Injektors 2 öffnet zur Erzeugung eines kräftigen Hohlkegelstrahls 8 nach außen, das heißt, daß sich das Verschlussglied des Injektors zur Öffnung in den Brennraum schiebt. Als schnellschaltbarer und somit im erfindungsgemäßen Sinn taktbarer Injektor kommt insbesondere ein Injektor mit einem Piezoelement als Stellglied für die Düsenadel in der Einspritzdüse 15 in Betracht. Ein solcher Injektor mit einem Piezoaktuator ist beispielsweise aus der DE 195 48 526 A1 bekannt. Auch durch Einsatz eines Schnarrventiles kann die Einspritzung in rascher Folge vielfach unterbrochen werden und in den kurzzeitigen Einspritzunterbrechungen Luft in den bereits eingespritzten Kraftstoff eingebettet werden.

[0020] Die Taktfolge wird von der Steuereinheit 14 eingestellt, wobei auch verschiedene Taktfolgen für die Dauer der Einspritzungen und die Dauer der Unterbrechungen der Einspritzung für unterschiedliche Betriebsbedingungen der Brennkraftmaschine 1 vorgesehen sein können. Die Taktfrequenz ist von der Steuereinheit 14 variabel einstellbar und kann mit dem Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine 1 abgestimmt werden.

[0021] Zur Unterstützung der Gemischbildung ist im Boden des Kolbens 5 eine Kolbenmulde eingelassen, deren Tiefe zweckmäßig weniger als 2 mm beträgt.

30 [0022] Fig. 2 zeigt in grafischer Darstellung eine vorteilhafte Möglichkeit zur Taktung der Einspritzung, wobei der Injektor mit dem Nadelhub H für ein Zeitintervall  $t_1$  zur Einspritzung geöffnet wird. Zwischen den Öffnungsintervallen  $t_1$  wird der Einspritzvorgang für die Zeitdauer  $t_0$  unterbrochen und der Injektor kurzzeitig geschlossen (Nadelhub H = 0). Bei der hier gezeigten Taktung ist die Dauer  $t_1$  bei geöffnetem Injektor und die Dauer  $t_0$  der Unterbrechungen der Einspritzungen durch Schließen des Injektors innerhalb der Taktfolge jeweils gleich. Die Zeitdauern der Einspritzung  $t_1$  und der Unterbrechung  $t_0$  bleiben während der gesamten Einspritzphase konstant. Der besseren Übersicht halber sind in der Zeichnungsfigur neun Einspritzvorgänge dargestellt, es können jedoch bei entsprechend rascher Taktung erheblich mehr Einspritzvorgänge und entsprechende Unterbrechungen vorgesehen sein.

45 [0023] Fig. 3 zeigt eine alternative Taktfolge der Einspritzungen  $t_1$  bei geöffnetem Injektor und Unterbrechungen  $t_0$  der Einspritzung, bei der das Verhältnis der Dauer der Einspritzungen  $t_1$  zu der Dauer der Unterbrechungen  $t_0$  der Einspritzung gleich ist. Das Verhältnis  $t_1/t_0$  bleibt während der gesamten Einspritzphase gleich, wobei die absoluten Zeitdauern während der Einspritzphase verändert werden. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Einspritzphase in drei Abschnitte geteilt, wobei in dem Einspritzintervall I zu Beginn der Kraftstoffeinspritzung die Zeitdauer der Öffnung des Injektors  $t_1$  und entsprechend die nachfolgende Unterbrechung  $t_0$  länger ist als im darauffolgenden Einspritzintervall II. Im Einspritzintervall III ist die Zeitdauer der Einspritzungen und Unterbrechungen der Einspritzung innerhalb der Taktfolge weiter verkürzt. Grundsätzlich kann es vorteilhaft sein, die Zeitdauer der Einspritzungen  $t_1$  und Unterbrechungen  $t_0$  der Einspritzung innerhalb der Taktfolge mit zunehmender Einspritzzeit zu verkürzen, wobei auch Verlängerungen der Taktfrequenz in Abstimmung mit der Motorcharakteristik zweckmäßig sein können. Auch sind mehr als 3 unterschiedliche Einspritzintervalle denkbar.

[0024] Fig. 4 zeigt eine weitere vorteilhafte Taktfolge, bei der die Dauer der Einspritzung  $t_1$  bei geöffnetem Injektor

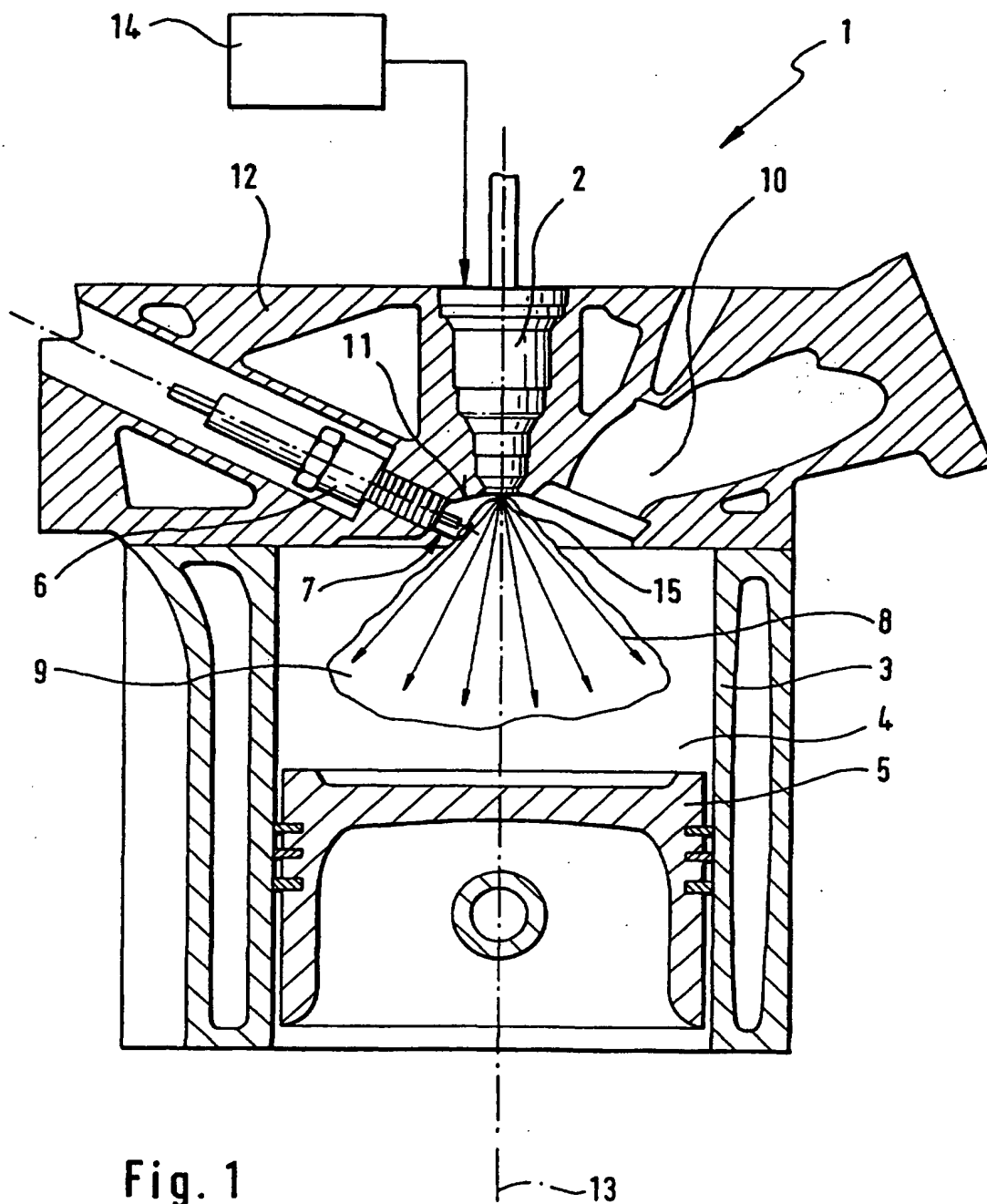
und die Dauer der Unterbrechungen  $t_0$  der Einspritzung durch Schließen des Injektors von der Steuereinheit des Injektors variabel eingestellt wird. Dabei können Zeitdauer der Einspritzungen und der Unterbrechungen in der Taktfolge zur Erreichung einer optimalen Gemischbildung der Motorcharakteristik angepaßt werden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die Zeitdauern der Einspritzungen  $t_1$  und der Unterbrechungen  $t_0$  der Einspritzung im Fortlauf der Taktfolge stetig verkürzt, wobei aufeinanderfolgende Unterbrechungen  $t_0$  oder Einspritzungen  $t_1$  auch gleich sein können. Auch eine Verlängerung der Taktfrequenz kann in Abhängigkeit der Motorcharakteristik zweckmäßig sein.

aufweist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine, wobei ein Injektor (2) Kraftstoff in einen innerhalb eines Zylinders (3) von einem Kolben (5) begrenzten Brennraum (4) einspritzt und dem Brennraum (4) über einen Einlaßkanal (10) Verbrennungsluft zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Injektor (2) während eines Einspritzvorganges in einer vorgegebenen Taktfolge vielfach geöffnet und geschlossen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der Einspritzungen ( $t_1$ ) bei geöffnetem Injektor (2) und die Dauer der Unterbrechungen ( $t_0$ ) der Einspritzung durch Schließen des Injektors (2) innerhalb der Taktfolge jeweils gleich sind.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis ( $t_1/t_0$ ) der Dauer der Einspritzungen ( $t_1$ ) zu der Dauer der Unterbrechungen ( $t_0$ ) der Einspritzung während des gesamten Einspritzvorganges gleich ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der Einspritzungen ( $t_1$ ) bei geöffnetem Injektor (2) und die Dauer der Unterbrechungen ( $t_0$ ) der Einspritzung durch Schließen des Injektors (2) von einer Steuereinheit (14) innerhalb der Taktfolge variabel eingestellt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der Einspritzungen ( $t_1$ ) und/oder die Dauer der Unterbrechungen ( $t_0$ ) der Einspritzung in der Taktfolge im Verlauf des Einspritzvorganges verringert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der Einspritzungen ( $t_1$ ) und/oder die Dauer der Unterbrechungen ( $t_0$ ) der Einspritzung in der Taktfolge im Verlauf des Einspritzvorganges verlängert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Kraftstoff in einem Hohlkegelstrahl (8) in den Brennraum (4) eingespritzt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Düse (15) des Injektors (2) nach außen öffnet.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Verschlußglied des Injektors (2) piezoelektrisch betätigt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspritzdüse (15) des Injektors (2) maximal 10 mm von der Zylinderachse entfernt ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kolbenmulde im Boden des Kolbens (5) eine maximale Tiefe von 2 mm



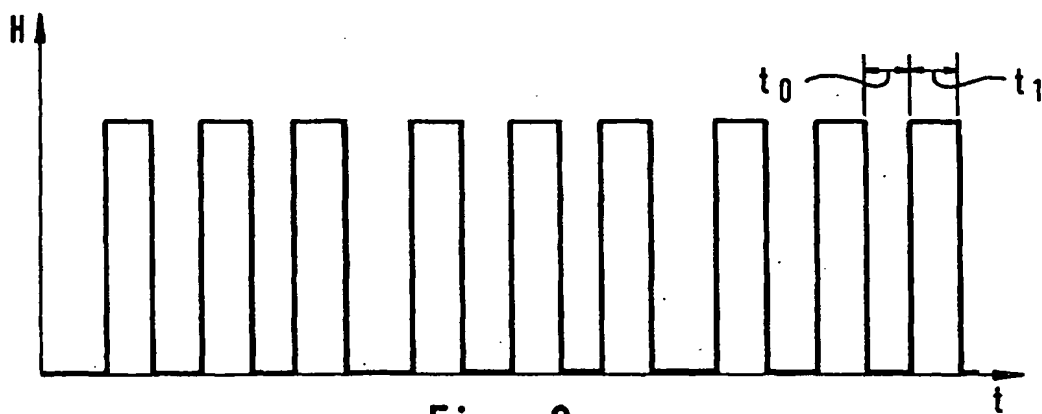


Fig. 2

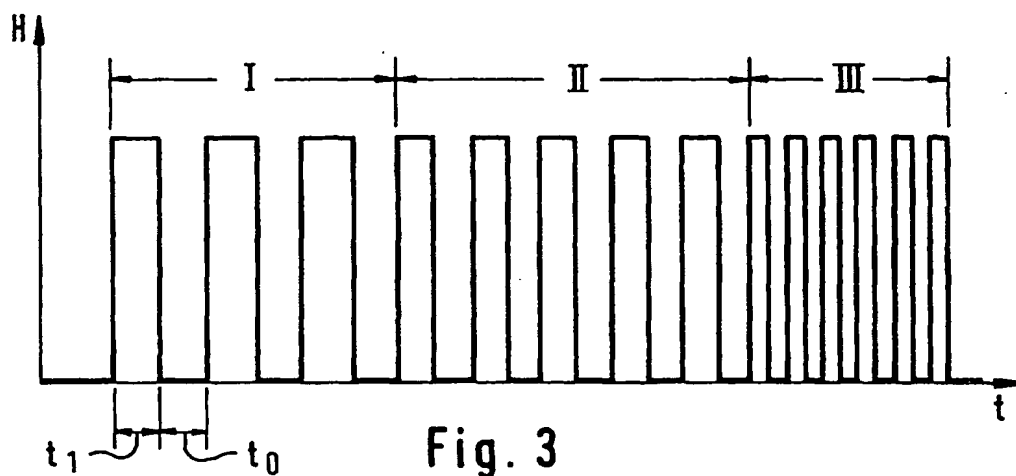


Fig. 3

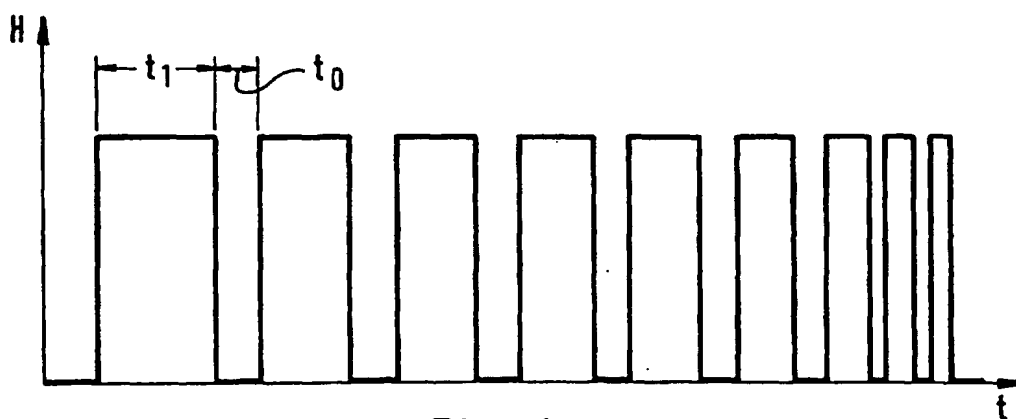


Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**